

工学と理学がつなぐ二刀流海洋物理学の航跡

神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 内山 雄介

E-mail : uchiyama@harbor.kobe-u.ac.jp

初めて流体力学なる学問の入口に立ったのは大学2年生のときであった。工学部土木工学科に配属された私は、開水路や管路を取り扱う水理学から流体力学を学び始めた。当時の私は体育会ヨット部に所属しており、奇しくも1年生の春に機械工学科の先輩からヨットが風上に進める理由、すなわち揚力の発生機構はベルヌイの定理で説明できる、という講釈を葉山の合宿所で拝聴してから、流体力学は常に身近な存在であったような気がする。水理学をご教示いただいた教官陣の一人でもある日野幹雄先生の手による「明解 水理学」(朝倉書店, 1983)は主要な洋書版水理学のエッセンスが凝縮されたトリュフオイルのような教科書で、後年、拙著「ゼロから学ぶ土木の基本 水理学」(オーム社, 2013)執筆時に大いに参考にさせていただいた。さらにもう1冊の教科書であった旧版「流体力学」(朝倉書店, 1974)、それを大幅改定した新版「流体力学」(朝倉書店, 1992)は私のバイブルであった。特に新版の「流体力学」は、大学院生時代の輪講でD. J. Tritton「Physical Fluid Dynamics」(Van Nostrand Reinhold, 1977)などを題材に学生・教員で侃々諤々と議論した内容が鮮やかに反映されており、乱流の組織構造やTaylor拡散までカバーする大著にして名著であった。

その後、河川工学を経て海岸工学分野の研究室に進み、1998年に旧運輸省・現国研の港湾空港技術研究所に職を得てからは、国土保全や航路維持などの観点から砂浜や干潟の土砂輸送および地形変化に関する研究に従事した。海岸付近の土砂や物質輸送は流れに加えて波浪、すなわち風成の重力波である風波やうねりの影響を強く受ける。特に海岸では導波作用によるエネルギー集積に加え、砕波により波浪が失う運動量が流れに転化することなど、波と流れの相互作用が力学的に重要となる。このような特殊な外力場を評価する流体力学理論として、波の位相平均効果を質量輸送として評価するStokes driftや、それを運動量に拡張したradiation stress (Longuet-Higgins, M.S. and Stewart, R.W., 1962, J. Fluid Mech. (JFM); Hasselmann, K., 1971, JFM), あるいはLangmuir循環の発生理論で広く認知されるvortex force (Craik, A.D.D. and Leibovich, S., 1977, JFM)が20世紀末の当時にも存在していた。radiation stressもvortex forceも運動方程式を波と流れでスケール分離したときの平均流方程式に現れる外力項であり、前者は移流項をReynolds分解、後者はHelmholtz分解することで導出される。前者は砕波や境界面摩擦などの非保存的

な波浪影響を考慮できるものの鉛直積分型平面2次元の理論であり、後者は3次元ではあるが保存的な波浪の効果しか考慮できず、いずれも3次元性と非保存的外力が重要となる海岸近傍での力学に用いることができないという重大な欠点を抱えていた。

この状況を最初に打破したのは、3次元海洋流動モデルの開発チーム責任者でもあった二人の地球物理学者であった。Mellor, G.L. (2003, J. Phys. Oceanogr.)は σ 座標系モデルに適合させた特殊なLagrange座標上でradiation stressを3次元で導出し、その翌年にMcWilliams, J.C. et al. (2004, JFM)はEuler座標系での漸近展開理論により、回転成層流体に適用可能なvortex force型の3次元Primitive方程式を導出した。その後、Mellor理論に数学的なミスが指摘され、一般化Lagrange平均理論を用いたArdhuin, F. et al. (2008, Ocean Modell.)などによって修正、淘汰された。この頃の私はUniversity of California, BerkeleyでMellorのモデルを用いてSan Francisco湾の3次元流動・土砂輸送モデリングに取り組んでおり、積年の懸念事項であった波・流れ相互作用の問題が解決の方向に向かう気配を米国の地で強く感じていた。

翌2005年、縁あってUniversity of California, Los Angelesの地球惑星物理学研究所に職を得て、幸運にもMcWilliamsの研究チームに加入した。土木工学出身の私は、地球流体分野ではほぼ取り扱わない砕波、界面摩擦・streaming、波による乱流エネルギー付加など浅海域で必要なおよそ全ての外力をMcWilliams理論と融合させ、地球自転効果と波浪(Stokes drift)との相関項、浮力項などを包含した海岸から全球に至る全海洋に適用可能な波・流れ相互作用理論と、それを組み込んだ3次元海洋流動モデルの開発に従事した(Uchiyama et al., 2010, Ocean Modell.)。

以来約20年、工学・理学の両分野にまたがる研究をしてきた。工学系流体力学者は応用的・実践的な研究開発に強みを持ち、理学系は基礎的・理論的な研究に強く、双方の協働によりブレークスルーが生まれることを実体験として得た。理学的な素養は間違いなく学生時代の輪講に始まる流体力学に対する知的好奇心によって築かれたものであり、また若い頃から海洋科学系の学会に毎年参加したことで得た知識・人脈を通じて問題解決の糸口を探し続けた食欲が奏功したように思う。その糸口は結局、自分の中と近接他分野にあった。至言ではあるが、若手の皆様には研鑽を積み重ね、好奇心の火を燃やし、深遠な流体力学の世界へと飛び込んでいただきたい。